CNE

LES FORMATIONS SUPÉRIEURES EN MATHÉMATIQUES ORIENTÉES VERS LES APPLICATIONS

RAPPORT

D'ÉVALUATION

AVERTISSEMENT

Ce rapport est publié en deux parties.

La première partie est publiée sous la présente version papier et contient :

- une présentation de l'évaluation réalisée : son organisation, son champ, son déroulement, un essai de définition des mathématiques appliquées, la description des critères retenus pour l'évaluation ;

- une synthèse transversale des évaluations, filière par filière, (MIM-MASS-IUP-DESS-DEA) avec des conclusions générales et des recommandations relatives à la filière ;

- une étude observant la place des mathématiques dans les écoles d'ingénieurs, dans quelques autres grandes écoles et instituts universitaires ;

- une étude concernant les débouchés offerts aux diplômés mathématiciens dans les secteurs industriels et de services.

La deuxième partie est disponible sous forme d'un CD-ROM joint à cette version et contient :

- l'ensemble des rapports d'évaluation des "formations supérieures en mathématiques pour les applications" dans chacune des universités françaises concernées ;

- la méthodologie d'évaluation retenue et, en particulier, les grilles d'analyse utilisées pour évaluer les diplômes ;

- la présentation commentée de la structure choisie pour élaborer chaque rapport d'évaluation ;

- quelques tableaux de comparaison : statistiques sur 4 années en MASS, IUP, DEA.



Cette évaluation a été placée sous la responsabilité de Philippe **Bénilan** et Claude **Froehly,** membres du Comité national d'évaluation, et réalisée avec la collaboration de Gilles **Bertrand,** président du CNE, et de Jean-Loup **Jolivet**, délégué général.

Décédé le 17 février 2001, Philippe **Bénilan** n'a hélas pas pu participer à la phase finale de ce projet dont il avait eu l'initiative et qu'il a conduit à son lancement avec passion.

Guy **Cirier**, chargé de mission au CNE, a assuré la coordination des travaux.

Un groupe de pilotage a été constitué des personnes suivantes :

Alain **Bamberger**, directeur de l'informatique de l'Institut français du pétrole (jusqu'en mai 1999)
Philippe **Bénilan**, professeur à l'Université de Franche-Comté, membre du CNE
Guy **Cirier,** chargé de mission au CNE
Christiane **Cocozza-Thivent**, professeure à l'Université de Marne-la-Vallée
Pierre **Fabrie**, professeur à l'Université Bordeaux I
Claude **Froehly**, directeur de recherche au CNRS, membre du CNE
Dominique **Nicolle**, chargée de mission au CNE.

S'y sont joints en février 2001

Michel **Pierre**, professeur à l'École normale supérieure de Cachan (Antenne de Bretagne)
Monique **Pontier**, professeure à l'Université Paul Sabatier - Toulouse III.

Ont également participé à l'évaluation :

En tant que personnalités consultées ou auditionnées

Rémi **Barré**, directeur de l'Observatoire des sciences et techniques (OST)
Nathalie **Battesti**, secrétaire de la Commission des titres d'ingénieur
Louis **Castex**, président de la Commission des titres d'ingénieur
Henri **Caussinus**, ancien président de l'Association des statisticiens universitaires (ASU)
Amy **Dahan-Delmedico**, historienne des mathématiques
Max **Dauchet**, ancien vice-président de l'Association française des sciences et technologies de l'information
Jean **Giraud**, ancien directeur scientifique pour les mathématiques à la Direction de la recherche
Bernard **Helffer**, conseiller adjoint pour les mathématiques à la Direction de la recherche
Jean-Luc **Joly**, ancien directeur scientifique pour les mathématiques à la Direction de la recherche
Christian **Martin**, chef du Bureau des écoles d'ingénieurs
Guy **Mazaré**, directeur de l'ENSIMAG
Jean-Claude **Nédelec**, ancien président de la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI)
Etienne **Pardoux**, ancien directeur scientifique pour les mathématiques à la Direction de la recherche
Claude **Puech**, ancien conseiller pour les mathématiques et l'informatique à la Direction de la recherche
Jean-Louis **Soler**, directeur des études de l'ENSIMAG
Marie-France **Vigneras**, membre du Comité national d'évaluation de la recherche
Michel **Zitt**, membre de l'Observatoire des sciences et techniques (OST)

En tant qu'experts

Dominique **Bakry**, professeur à l'Université Paul Sabatier - Toulouse III
Claude **Basdevant**, professeur à l'École normale supérieure de Paris
Pierre-Henri **Bernard**, professeur à l'Université Clermont-Ferrand II
Philippe **Besse**, professeur à l'Université Paul Sabatier - Toulouse III
Mireille **Chaleyat-Maurel**, professeure à l'Université Paris V
Francis **Conrad**, professeur à l'Université Nancy I
Georges-Henri **Cottet**, professeur à l'Université Grenoble I
Nicole **Elkaroui**, professeure à l'École polytechnique
Jean **Fonlupt**, professeur à l'Université Paris VI
Thierry **Gallouët**, professeur à l'Université Aix-Marseille I
Bernard **Hanouzet**, professeur à l'Université Bordeaux I
Jean **Jacod**, professeur à l'Université Paris VI
Otared **Kavian**, professeur à l'Université de Versailles - Saint-Quentin
Jean **Lacroix**, professeur à l'Université Paris VI
Damien **Lamberton**, professeur à l'Université de Marne-la-Vallée
Michel **Langlais**, professeur à l'Université Bordeaux I
Alain **Le Breton**, professeur à l'Université Grenoble I
Dominique **Lépingle**, professeur à l'Université d'Orléans
Jean-François **Maître**, professeur à l'École centrale de Lyon
Sylvie **Mas-Gallic**, professeure à l'École polytechnique
Alain **Mignot**, professeur à l'Université Rennes I
Mohand **Moussaoui**, professeur à l'École centrale de Lyon
Benoît **Perthame**, professeur à l'Université d'Orléans
Dominique **Picard**, professeure à l'Université Paris VII
Michel **Pierre**, professeur à l'École normale supérieure de Cachan (Antenne de Bretagne)
Bernard **Prum**, professeur à l'Université d'Évry - Val d'Essonne
Jean-Pierre **Raoult**, professeur à l'Université de Marne-la-Vallée
Bernard **Roynette**, professeur à l'Université Nancy I
Michel **Weil**, professeur à l'Université de Franche-Comté
Jean-Pierre **Yvon**, professeur à l'INSA de Rennes

Ont été consultés :

En tant que représentants des sociétés savantes

Nicole **Berline**, vice-présidente de la Société mathématique de France (SMF)
Guy **Chassé**, membre du conseil d'administration de la SMF
Patrick **Le Tallec**, ancien président (1999-2001) de la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI), professeur et directeur d'études à l'École polytechnique
Mireille **Martin-Deschamps**, ancienne présidente (1999-2001) de la SMF, professeure à l'Université de Versailles – Saint-Quentin
Gilbert **Saporta**, président de la Société française de statistique (SFdS), professeur au CNAM
Michel **Théra**, président de la SMAI
Michel **Waldschmidt**, président de la SMF

Ont été auditionnés pour l'étude complémentaire sur les débouchés :

En tant que responsables de DEA ou DESS

Thierry **Berger**, responsable du DEA Cryptographie, Codage, Calcul à l'Université de Limoges
Dominique **Dehay**, responsable du DESS Statistiques pour l'entreprise à l'Université Rennes II



Gilles **Ducharme**, responsable du DEA Biostatistique à l'Université Montpellier II
Edwige **Godlewski,** responsable du DESS Mathématiques appliquées à l'Université Paris VI
Christian **Lecot**, ancien responsable du DESS Ingénierie mathématique à l'Université de Savoie
Abdelkader **Mokkadem**, responsable du DESS Ingénierie statistique à l'Université de Versailles – Saint-Quentin
Daniel **Serant**, responsable du DESS Sciences actuarielles et financières à l'Université Lyon I

En tant que cadres supérieurs d'entreprise

Dominique **Bidault**, directrice du recrutement des cadres à la SNCF
Stéphane **Calcei**, responsable du recrutement et des relations avec les écoles à BNP-Paribas
Francisca **Campos**, responsable des relations humaines à Médiamétrie
Jean-Pierre **Carrou**, responsable de la division "mathématiques spatiales" du CNES (aérospatiale)
Alain **Charmant**, responsable d'une équipe scientifique de gestion du risque client au Crédit Lyonnais
Corinne **Cohen**, responsable du département d'optimisation de Bouygues Télécom (téléphonie portable)
Jean **Deregnaucourt**, directeur recherche - développement, laboratoire Fabre (pharmacie et produits de beauté)
Jean-François **Didier**, ingénieur chef de projet à la SSII Solic (conseil-ingénierie)
Antoine **Frachot**, responsable de la cellule "recherche opérationnelle" au Crédit Lyonnais
Sandra **Ifrah**, responsable du recrutement des cadres d'Axa (assurances)
Jean-Claude **Lehmann**, directeur de recherche de Saint-Gobain
Claude **Lepape**, directeur recherche - développement chez Bouygues Télécom (téléphonie portable)
Céline **Lépine**, responsable communication et recrutement à la SSII Solic (conseil-ingénierie)
Jean-Louis **Ligier**, directeur du service "mécanique des solides et thermique" de Renault
David **Novachi**, responsable d'une équipe marketing au Crédit Lyonnais (création, exploitation de bases)
Josiane **Roc-Schneider**, directeur des ressources humaines chez Servier (laboratoire pharmaceutique)
Dominique **Schweizer**, responsable de la formation chez Axa (assurances)
Philippe **Tassi**, directeur scientifique de Médiamétrie (sondage), ancien directeur de l'ENSAE
Rémi **Urbain**, attaché au directeur de recherche-développement du groupe Fabre

Le CD-ROM qui accompagne ce rapport a été réalisé par la société Ligne Bleue Cyber

Y ont également apporté une contribution :

Jean François **Colonna**, chercheur à l'École polytechnique, pour l'image de l'attracteur de Lorenz
Sandrine **Dalverny**, assistante de documentation au CNE
Jean-Christophe **Martin**, responsable informatique au CNE

Ont participé à l'élaboration de ce rapport au titre du secrétariat général du CNE :

Ibrahima **N'Diaye**, statisticien stagiaire
Laurence **Hortet,** secrétaire contractuelle
Delphine **Lecointre**, secrétaire PAO
Isabelle **Nolleau**, secrétaire
Sophie **Tanvez**, secrétaire

Le Comité remercie les experts et les personnalités qui lui ont apporté leur concours. Il rappelle que ce rapport relève de sa seule responsabilité.



PARTIE 1 (VERSION PAPIER)

L'évaluation des filières universitaires, suivie de deux études complémentaires

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 2 (CD-ROM)

Les évaluations des formations dans cinquante-deux universités

Mode de présentation des résultats

I Les tableaux numériques
II Le corps du rapport

Guide de lecture des grilles d'analyse

Mode d'emploi du CD-ROM

Les résultats par université

Quelques tableaux de comparaison

L'ÉVALUATION : OBJECTIFS, CHAMP, RÉALISATION, CRITÈRES

I - LES OBJECTIFS DE L'ÉVALUATION

À l'occasion des manifestations organisées dans le cadre "An 2000, année des mathématiques", le Comité national d'évaluation a décidé d'évaluer les formations supérieures en mathématiques orientées vers les applications.

1 - UN CONTEXTE DYNAMIQUE

De nombreuses applications des mathématiques dans l'industrie et les services. Si les mathématiques ont toujours eu des domaines d'application privilégiés comme la mécanique, la physique, la chimie, on a pu constater ces dernières années une véritable "explosion" des applications des mathématiques. Le développement spectaculaire de l'informatique et des moyens de calculs est, bien sûr, pour une grande part à l'origine de ce phénomène. Il a tout naturellement induit un accroissement considérable du recours aux modèles mathématiques et à la simulation numérique dans les domaines rappelés ci-après. Mais, il est sans doute plus nouveau qu'il se soit étendu à la plupart des autres sciences, y compris les sciences économiques et sociales, si bien qu'on observe maintenant une véritable "culture" de la modélisation mathématique et de la simulation sur ordinateur dans des domaines de plus en plus variés.

Un accroissement et une diversification de l'offre de formation. Cette évolution s'est accompagnée d'une diversification des formations offertes en mathématiques dans les universités et de la création d'enseignements spécifiques orientés vers les applications des mathématiques. Ainsi se sont créées, dès 1965, les MAF (maîtrises de Mathématiques et Applications fondamentales), qui ont été progressivement remplacées par les MIM (maîtrises d'Ingénierie mathématique) à partir de 1983. Elles ont été complétées par la création, en 1974, des premiers DESS (diplômes d'études supérieures spécialisées) en ingénierie mathématique. Parallèlement, ont été mises sur pied toutes les formations en MASS (Mathématiques appliquées et sciences sociales), différenciées dès le premier cycle des universités et suivies des formations correspondantes de deuxième cycle (licence et maîtrise), puis de 5e année universitaire sous la forme de DESS ciblés.

Dans le même temps, les DEA (diplômes d'études approfondies) de mathématiques offraient de plus en plus d'options, voire des cursus complets, orientés vers les mathématiques pour les applications. L'objectif majeur était, comme il se doit pour un DEA, la formation à la recherche, mais certains ont même joué le rôle de formations professionnalisantes à bac+5, tant la demande pouvait être pressante dans certains secteurs.

Plus récemment, suite à la création des IUP (Instituts universitaires professionnalisés), formations professionnalisantes menant à bac+4, certaines universités ont opté pour des formations de ce type à dominante mathématiques appliquées.

En 1998, une réforme de l'agrégation de mathématiques a conduit à la mise sur pied d'une toute nouvelle épreuve de modélisation mathématique ayant pour but d'intégrer enfin, dans la formation d'une partie au moins des futurs professeurs de mathématiques de lycée, la prise en compte de cette évolution du rôle des mathématiques dans notre société moderne.

2 - PLUSIEURS OBJECTIFS À ATTEINDRE

L'objectif principal de cette évaluation est de faire un état des lieux des formations universitaires appartenant au secteur dit des mathématiques appliquées (orientées vers les applications), de les situer dans l'ensemble des formations en mathématiques, d'examiner comment elles accompagnent l'évolution de la place des mathématiques dans l'environnement scientifique et socio-économique, et dans quelle mesure elles répondent à la demande de mathématiciens appliqués de haut niveau pour le monde industriel et économique.

L'évaluation université par université et formation par formation a pour but de donner une photographie de la répartition géographique de ce dispositif, de souligner les spécificités locales et d'offrir un outil de comparaison, à la fois qualitatif et quantitatif, des formations dans ces disciplines, à partir des points forts et points faibles constatés et de l'analyse des flux d'étudiants.

Enfin, au-delà des formations universitaires affichées explicitement "mathématiques appliquées", cette étude apporte quelques informations sur les enseignements en mathématiques dans les autres formations "enseignements de service" ; elle est complétée par une observation sur la place des mathématiques dans les écoles d'ingénieurs et quelques autres grandes écoles ou formations supérieures.

En aval de l'évaluation des formations universitaires, a été conduite une analyse de leurs débouchés auprès des utilisateurs. Ayant examiné la plus ou moins grande adéquation de l'offre de diplômés à la demande extérieure, on a cherché à dégager les tendances fortes de l'évolution des différents domaines d'application des mathématiques et à apprécier comment l'enseignement supérieur a pris en compte, dans son système de formation, la large diversification de ces applications.

II - LE CHAMP DE L'ÉVALUATION

1 - LES DIFFICULTÉS PRÉALABLES OBSERVÉES

La démarche a commencé début 1999 avec la création d'un groupe de pilotage qui a défini le champ de cette évaluation et sa méthodologie.

Le groupe a été confronté à plusieurs difficultés lors de cette première étape :

- D'emblée s'est posé le problème de la définition des mathématiques appliquées : "Qu'entend-on par mathématiques appliquées" était une question centrale dans cette évaluation et la réponse à cette question allait susciter de nombreuses réflexions, comme on le verra plus loin.
- Ensuite, est apparu la question de l'extrême diversité des formes sous lesquelles interviennent les mathématiques appliquées dans la formation scientifique :
  - dans les filières universitaires assez bien identifiées comme relevant des mathématiques appliquées ;
  - dans les formations en mathématiques au sens large ;
  - dans les autres secteurs disciplinaires comme enseignements de service ;
  - dans les écoles d'ingénieurs et grandes écoles en général.
- Puis s'est imposée l'idée de conduire une étude auprès des entreprises industrielles et de service afin d'apprécier la réalité des débouchés des formations de mathématiques appliquées ;
- Une comparaison internationale aurait aussi été pertinente, mais n'a malheureusement pas pu être réalisée.

2 - LES TRAVAUX PRÉLIMINAIRES ORGANISÉS

Le groupe de pilotage a organisé :

- l'audition de personnalités scientifiques : anciens ou actuels responsables des mathématiques au Ministère, dans les écoles d'ingénieurs ou dans les sociétés savantes, responsables de la Commission des titres d'ingénieur (CTI), du Comité national d'évaluation de la recherche (CNER), de l'Observatoire des sciences et techniques (OST) et divers spécialistes des mathématiques (cf. la liste nominative exhaustive en tête de ce rapport) ;
- une interrogation des écoles doctorales en mathématiques (mars 1999).

3 - LE CHAMP DE L'ÉVALUATION FINALEMENT RETENU

Compte tenu de ces premières observations et consultations, et pour s'en tenir à des objectifs accessibles avec des moyens et dans un temps raisonnables, il a été convenu :

- d'une part, de restreindre le champ de l'évaluation *aux filières universitaires bien identifiées en mathématiques appliquées et ingénierie mathématique et aux universités dans lesquelles est offerte au moins une formation à bac+5 dans ce domaine au cours de l'année universitaire 1999-2000.* à l'intérieur de ce champ ont été évaluées

les formations à bac+5, à savoir les DESS comportant une composante mathématique et les DEA à composante mathématiques appliquées. Ont été évaluées également les formations à bac+4 en amont, c'est-à-dire les MIM (maîtrise d'Ingénierie mathématique), les maîtrises MASS (Mathématiques appliquées et Sciences sociales), les IUP à composante mathématique. De plus, on a apprécié la situation de ces formations dans le dispositif global de formation en mathématiques depuis le 1er cycle, ainsi que dans leur environnement de recherche, tout en analysant le potentiel enseignant en mathématiques ;

- d'autre part, de mener une enquête relative à l'emploi et aux besoins de compétence auprès d'un échantillon d'entreprises, et d'appréhender l'importance de la contribution des filières d'ingénieur à ce domaine d'activité à partir des résultats d'une enquête réalisée avec l'appui de la Commission des titres d'ingénieur (CTI).

Les résultats de l'évaluation des filières universitaires, université par université, sont rassemblés dans le CD-ROM joint à ce rapport, avec la présentation de la méthodologie et quelques tableaux récapitulatifs de flux d'étudiants.

III - LE DÉROULEMENT DE L'ÉVALUATION

1 - LA PRÉPARATION DE L'ÉVALUATION

Au printemps 1999 plusieurs questionnaires destinés à être envoyés aux universités concernées via les présidences d'université ont été rédigés :

- l'un général, structuré autour de thèmes transversaux : les flux d'étudiants en 1er , 2e et 3e cycles de 1995 à 2000, le devenir des diplômés, le nombre d'enseignants avec leur répartition entre les 25e et 26e sections du CNU [1], les heures d'enseignement en mathématiques avec la part de mathématiques appliquées, les flux de préparation au CAPES et à l'agrégation de mathématiques ;
- plusieurs autres spécifiques, portant sur les filières MIM, DESS, DEA, MASS, IUP.

Ces documents peuvent être consultés dans le CD-ROM.

Ces questionnaires ont été soumis pour avis à quelques personnalités du monde des mathématiques. Ils ont ensuite été proposés dans quelques universités pour être testés. Les réponses et commentaires ont été reçus début décembre 1999. Les questionnaires ont été alors immédiatement envoyés dans toutes les universités concernées après les modifications jugées utiles.

2 - L'ORGANISATION DE L'ÉVALUATION SUR LE TERRAIN

La présentation de la procédure d'évaluation du CNE aux universités. Trois réunions ont d'abord été organisées en janvier 2000 avec des directeurs d'UFR scientifique ou leurs représentants mathématiciens pour expliquer les finalités et modalités de l'évaluation et pour recueillir observations et suggestions de la communauté mathématicienne avant l'envoi d'experts sur le terrain.

La préparation des expertises sur le terrain

Une réunion avec les experts pour fixer les objectifs. Le CNE a organisé une réunion en mai 2000 avec les experts, au cours de laquelle il a présenté et commenté les attentes du Comité relatives à la conduite des expertises et à la rédaction du rapport final. Lors de cette réunion, a été remis à chaque expert un dossier contenant un cahier des charges de la mission d'expertise ainsi que la trame de construction du rapport final souhaité par le CNE. Toute la documentation recueillie auprès des universités a été communiquée aux experts.

[1] Rappelons qu'au Conseil national des universités, on trouve les mathématiques dans la 25e section, (Mathématiques), et dans la 26e section, (Mathématiques appliquées et applications des mathématiques). On peut, en première approximation, considérer que les mathématiciens appliqués sont ceux de la 26e section, mais ceci demande une analyse plus fine et sera discuté plus loin.

Un découpage géographique des expertises. Pour coordonner les expertises, les universités ont été regroupées par zone géographique. Le groupe de pilotage a découpé le territoire national en 11 secteurs et a choisi des groupes de 2 à 4 experts pour se rendre dans toutes les universités d'un même secteur. Une trentaine d'experts ont été nommés pour couvrir la cinquantaine d'universités participant à l'enquête.

Un cahier des charges remis à l'expert. Un mémento de l'expert a été préparé pour donner un cadrage et des orientations précises au travail des experts. Ce mémento contenait une liste de questions relatives à l'évaluation des mathématiques appliquées de l'UFR de Sciences de l'établissement, des grilles d'analyse propres, à chaque diplôme, ainsi qu'une grille transversale applicable à l'ensemble des formations [1]. Il était en particulier prévu dans ce cahier des charges que l'expert, en rédigeant son rapport, donne ses appréciations sur chaque UFR de Sciences et sur chaque diplôme en attribuant une cotation selon l'échelle A à E usuelle. Pour fonder les cotations des diplômes, les cinq critères suivants ont été retenus [1] :

- organisation globale du diplôme ;
- débouchés du diplôme ;
- formation en informatique ;
- ouverture sur l'extérieur ;
- liens avec la recherche.

Une trame de construction du rapport d'expertise souhaité par le CNE. Cette trame a été remise à l'expert afin que le CNE puisse publier des résultats d'évaluation des mathématiques appliquées par université de façon homogène [2].

3 - LE TRAVAIL D'EXPERTISE

Les experts ont été sollicités sur la base de leur expérience effective dans la mise en place ou l'encadrement de formations universitaires orientées vers les applications.

Ils ont été affectés à des groupes d'universités, le plus souvent par deux, afin d'assurer la plus grande couverture possible des formations à évaluer. Pour les grosses universités, les groupes d'experts ont été portés à trois ou quatre. Ils se sont rendus dans les universités courant juin 2000 et ont envoyé leurs rapports pendant l'été 2000.

L'ensemble des rapports d'expertise, fruit d'un travail considérable, contenait une information et des réflexions d'une très grande richesse.

On notait cependant une certaine hétérogénéité des rapports, des jugements trop diversifiés, et surtout des difficultés d'exploitation des cotations ; dans certains rapports on ne trouvait pas de cotation, dans d'autres on observait une adéquation insuffisante de la notation aux commentaires ou une accumulation trop systématique d'appréciations autour de la valeur A.

Il est aussi apparu que les experts n'ont pas pu rencontrer les étudiants autant qu'ils le souhaitaient à cause de la période choisie (mois de juin).

Une réunion de mise en commun a eu lieu en septembre. Elle a montré qu'à de rares exceptions près, les experts ont été bien accueillis et leur visite bien préparée dans les universités. Une première réflexion globale a pu être dégagée en séance sur les MIM, les DESS, les DEA, les formations à double compétence, les MASS, les relations entre les mathématiques et l'informatique et les relations des mathématiques avec les autres disciplines.

Le principe et la mise en œuvre des cotations ont donné lieu à un débat animé avec les experts, qui ont exposé leurs hésitations ou réticences, motivées par leur souci de formuler des jugements exacts et nuancés, et aussi par leur appréhension devant les risques d'exploitation sommaire d'appréciations trop réductrices.

---

[1] On se reportera à la partie "Guide de lecture des grilles d'analyse" (CD-ROM).
[2] On se reportera à la partie "Mode de présentation des résultats" (CD-ROM).

4 - L'HOMOGÉNÉISATION DES RAPPORTS

Un travail d'uniformisation de la présentation des rapports, de vérification des données, a ensuite été effectué pour chacun des rapports d'expert.

La difficulté inhérente à la démarche de cotation des formations a été discutée par le CNE dans sa séance du 9 novembre 2000. Il est apparu plus adapté de retenir une appréciation qualitative autour de chaque critère retenu [1] pour évaluer les formations et de dégager en synthèse un argumentaire concis mettant en avant les points forts et faibles de la formation et de la filière dans son ensemble. Les rapports d'expert ont été harmonisés de cette façon.

Ces rapports harmonisés ont été retournés aux experts à partir du printemps 2001 pour accord et, éventuellement, compléments d'information. Ils ont ensuite été transmis aux universités concernées pour être avalisés [2]. Ils constituent l'essentiel du tome 2 sur CD-ROM.

Pendant cette même période, le champ d'évaluation a été affiné : des expertises complémentaires ont été effectuées pour des formations (de type double compétence MASS, mathématiques-économétrie, etc.) qui n'avaient pas été considérées dans un premier temps, entre autres, à cause des recherches par les mots-clefs d'un vocabulaire trop mathématique.

IV - QU'APPELLE-T-ON MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES ?

1 - MATHÉMATIQUES "APPLIQUÉES" VERSUS "PURES"

Mathématiques appliquées et mathématiques pures : une frontière floue

Il est bien difficile de donner une définition précise de ce qu'on appelle "mathématiques appliquées", bien que ce soit une terminologie couramment employée. Elle n'a pas la même signification pour tout le monde, même en France, et la distorsion est encore plus grande à l'échelle internationale.

Elle suggère qu'il y a deux sortes de mathématiques, celles qu'on appelle donc "appliquées" et les autres qu'on qualifie le plus souvent, par opposition, de "pures". Il y aurait donc une classification des mathématiques en deux branches distinctes. Si oui, où se trouve la ligne de séparation ? Il n'est pas facile d'y répondre quand on sait toute la cohérence, l'imbrication et la continuité qui existent entre les différentes branches des mathématiques.

Ce sont les deux adjectifs "pures" et "appliquées " qui sont le plus souvent employés. Au lieu du premier, on dit aussi "fondamentales" ou "théoriques "… Ce dernier adjectif étant sans doute à bannir car on imagine mal ce que seraient des mathématiques non théoriques. Pour éviter l'ambiguïté de l'expression "mathématiques appliquées", on cherche aussi à la remplacer par "mathématiques motivées" ou "mathématiques applicables". Dans le titre de ce rapport, nous parlons de "mathématiques orientées vers les applications". Comme nous l'expliquons ci-dessous, ceci nous semble plus approprié. Tout au long du rapport, nous nous permettons cependant d'utiliser assez systématiquement l'expression "mathématiques appliquées" (MA), communément utilisée - malgré ses ambiguïtés - dans les communautés universitaires concernées. Nous nous référons à l'analyse ci-après qui essaie de mieux cerner cette notion, ainsi qu'à la liste des domaines des mathématiques que nous indiquons ensuite comme faisant explicitement partie de notre champ d'observation.

Les mathématiques appliquées : une démarche intellectuelle plutôt qu'un domaine de connaissances. Certains disent : "il n'y a pas de mathématiques appliquées, il n'y a que des mathématiciens appliqués". Cette remarque permet d'avancer sur la question, car elle fait référence à une démarche mathématique particulière et non plus à une partition du domaine. On s'approche alors sans doute davantage de la véritable signification cachée derrière le vocable

[1] On se reportera à la partie "Guide de lecture des grilles d'analyse" (CD-ROM).

[2] On se reportera à la partie "Les résultats par université" (CD-ROM).

"mathématiques appliquées", qui fait plutôt référence à une activité mathématique spécifique en ce qu'elle est associée à un objectif d'application dans une autre discipline ou dans un autre secteur, alors que les "mathématiques pures" sont uniquement motivées par des progrès internes aux mathématiques. Par exemple, les tentatives de démonstration du théorème de Fermat, qui a défié les mathématiciens pendant plusieurs siècles, ont fait naître de nombreux outils nouveaux et puissants en théorie des nombres, et même en géométrie. La question initiale posée sur les nombres entiers [1] était purement mathématique et n'était motivée par rien d'autre que la volonté de mieux comprendre les nombres entiers. Il n'y était associé aucun autre objectif de résolution d'un problème hors de la discipline mathématique, ce qui n'empêche nullement qu'un jour ce théorème, enfin démontré [2], puisse avoir des applications à un autre domaine.

Tout le monde est d'accord pour qualifier l'activité autour du théorème de Fermat de "mathématiques pures". Par contre, les recherches faites depuis plusieurs années autour de l'équation dite de Navier-Stokes [3], issue de la modélisation en dynamique des fluides, sont plutôt classées en "mathématiques appliquées".

Elles ont pourtant, là aussi, généré de nouvelles mathématiques, certaines bien éloignées de la mécanique des fluides, et ayant un intérêt intrinsèque pour les progrès de l'analyse mathématique. Mais, le fait que la motivation initiale était d'utiliser des mathématiques en vue d'une meilleure compréhension des mouvements des fluides induit une situation tout à fait différente de celle du théorème de Fermat et la classe, sans ambiguïté, dans la mouvance des "mathématiques appliquées".

Nous convenons pour la suite que la terminologie "mathématiques appliquées" fait référence à des mathématiques motivées par au moins une application identifiée hors des seules mathématiques.

Des interrogations subsistent. Il n'en reste pas moins plusieurs questions, par exemple :

- les mathématiques "pures" et "appliquées" correspondent-elles à deux activités scientifiques différentes ou est-ce seulement la motivation qui est différente ?
- y a-t-il deux communautés distinctes : celle des mathématiciens "purs" et celle des mathématiciens "appliqués" ?
- peut-on classer les différentes branches des mathématiques selon leur utilisation dans les applications ou non ?
- pour l'évaluation qui nous concerne ici, quelles branches devons-nous considérer comme relevant des mathématiques appliquées et quels enseignements devons-nous évaluer ?

Bien d'autres questions, liées à l'évolution des mathématiques sous la pression des applications, seraient bien sûr intéressantes à analyser, mais vont au-delà de notre objectif d'évaluation d'une classe particulière de formations.

Nous donnons quelques éléments de réflexion et de réponse aux questions énoncées précédemment.

2 - UN PEU D'HISTOIRE

Des rapports conflictuels durant 40 ans dans la communauté des mathématiciens

Depuis au moins l'entre-deux guerres et jusqu'aux environs de 1980, les rapports entre mathématiques appliquées et pures étaient, en France, très hiérarchisés et très conflictuels.

Un vrai mathématicien se devait de faire des mathématiques pour la seule beauté de cette science, sans aucun souci des applications, voire en mettant plutôt un point d'honneur à ce qu'elles soient complètement "gratuites". D'ailleurs, n'est-ce pas la grandeur des mathématiques d'être si bien faites que, tôt ou tard, elles se révèlent utiles,

1 Il s'agit de montrer, pour un nombre entier n supérieur ou égal à 3, qu'il n'existe pas d'entiers strictement positifs s, y, z, tels que $x^n+y^n=z^n$. Bien sûr pour n=2, il en existe puisque $3^2+4^2=5^2$.

2 Le "théorème de Fermat", énoncé par Pierre de Fermat au XVIIe siècle, a enfin été démontré en 1993 par Andrew Wiles, mathématicien britannique.

3 Cette équation porte sur les dérivées partielles par rapport au temps et à la variable spatiale de la vitesse d'un fluide en mouvement ; elle est non linéaire et fait encore l'objet de nombreuses questions ouvertes.

bien que créées sans aucun but utilitaire (on retrouve les mêmes exemples répétés à l'envi dans la littérature du genre) ? L'activité du mathématicien appliqué se trouvait, de fait, largement dévalorisée et assimilée à une simple et médiocre utilisation des outils mathématiques développés en amont par les "vrais" mathématiciens. Ce jugement hiérarchique se perpétuait dans tous les rouages du système, en particulier dans toutes les instances d'évaluation, de promotion ou de recrutement de mathématiciens. La conséquence en a été un retard important du développement des mathématiques appliquées en France.

Ceci a heureusement changé radicalement au cours de ces vingt dernières années. Mais il faut garder à l'esprit ce passé encore proche lors de toute analyse, et *a fortiori* de toute évaluation des mathématiques appliquées. L'évolution des mentalités est un phénomène généralement lent et il faut se garder des "vieux démons".

Une évolution forte des mentalités depuis 20 ans. Plusieurs facteurs ont déclenché une attitude nouvelle : la crise des débouchés en mathématiques vers les années 80, la nécessité d'une conception plus pragmatique de la science, même mathématique, le développement de l'informatique, et surtout la prise en compte des mutations dans les pratiques mathématiques hors de France, en particulier aux États-Unis, et la clairvoyance de quelques-uns de nos meilleurs mathématiciens. Il est enfin apparu (ou plutôt réapparu) clairement que, loin d'être seulement un sous-produit des mathématiques, les applications étaient une source féconde de problèmes mathématiques nouveaux et riches, et que c'était une chance et une nécessité d'engager les mathématiques dans le développement de tous les secteurs techniques et économiques.

Les formations universitaires ont parallèlement évolué : les offres de nouveaux diplômes en "ingénierie mathématique" ont soudainement fleuri ; cette nouvelle terminologie présentait l'avantage d'être moins "chargée" que celle de "mathématiques appliquées", et surtout accompagnait bien ce mouvement de pénétration de l'outil mathématique dans d'autres disciplines de plus en plus diverses. Ainsi, face à ce spectaculaire élargissement du champ d'intervention des mathématiques, certains affirment même maintenant que les mathématiques pures sont devenues un sous-domaine des mathématiques appliquées : elles correspondent à la partie qui peut être totalement formalisée.

3 - PLUSIEURS COMMUNAUTÉS DE MATHÉMATICIENS ?

C'est en 1983 que s'est créée la SMAI, Société de mathématiques appliquées et industrielles.

Elle s'est donc ajoutée à la SMF, Société mathématique de France, qui représentait les mathématiques depuis sa fondation en 1872. La création de cette nouvelle société savante traduisait le besoin, ressenti par beaucoup de mathématiciens “appliqués“ de l'époque, d'identifier, de rendre visible, de valoriser et de développer les mathématiques pour les applications, en même temps que de défendre leurs représentants et leurs militants. D'autres regrettaient cette initiative, où ils voyaient surtout l'aspect négatif d'une “sortie de la SMF“ de certains mathématiciens, et craignaient peut-être aussi la contestation d'un pouvoir, jusqu'alors omniprésent, des mathématiciens "purs"

Une vingtaine d'années après, il s'avère que cette démarche a été très bénéfique pour les mathématiques dans leur ensemble. Aujourd'hui, les deux sociétés (SMAI et SMF) travaillent en étroite collaboration avec de plus en plus d'initiatives communes, mais aussi avec des actions séparées, tant il est devenu évident pour tous qu'il y a matière à projets pour les deux sociétés.

La visibilité accrue des mathématiques tournées vers les applications. Des groupes se sont progressivement créés au sein de la SMAI pour accroître la visibilité de certains sous-domaines des mathématiques appliquées. Ils sont au nombre de quatre au début de l'année 2002 :

- le GAMNI : Groupe pour l'avancement de méthodes numériques de l'ingénieur ;
- le groupe MAS : Modélisation aléatoire et statistique ;
- le groupe MODE : Mathématiques de l'optimisation et de la décision ;
- le groupe AFA : Association française d'approximation.

La SMAI compte environ 1300 adhérents et la SMF 2000. Il existe aussi une autre société savante française relevant des mathématiques, la SFdS, Société française de statistique, créée en 1997 à partir du regroupement de trois autres sociétés (dont la Société de statistique de Paris, fondée en 1860). Elle compte environ 1000 adhérents.

En première approximation, les mathématiciens purs se retrouvent à la SMF et les mathématiciens appliqués à la SMAI, mais ceci doit cependant être fortement nuancé : d'abord, beaucoup appartiennent aux deux sociétés et les adhésions jointes sont encouragées ; ensuite, les statisticiens se retrouvent plutôt à la SFdS ; d'autre part, la SMF encourage maintenant aussi beaucoup d'actions en direction des applications, qui ne sont donc plus un domaine réservé des autres sociétés.

Notons qu'à l'étranger, il existe également des sociétés savantes spécialisées dans les mathématiques pour les applications : citons par exemple, la SIAM aux USA (Society for Industrial and Applied Mathematics) qui co-existe avec l'AMS (American Mathematical Society), de même que la CAMS (Canadian Applied Mathematical Society) avec la CMS (Canadian Mathematical Society), la GAMM en Allemagne (Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik), la SIMAI en Italie (Società italiana di matematica applicata e industriale), la SEMA en Espagne (Sociedad española de matemática aplicada). L'EMS, la Société mathématique européenne ou European Mathematical Society, a été créée en 1990 et couvre l'ensemble des mathématiques.

On peut aussi classer les enseignants-chercheurs mathématiciens sur des critères d'appartenance à l'une ou l'autre des sections du CNU, la 25e section "*Mathématiques*" ou la 26e section "*Mathématiques appliquées et Applications des mathématiques*". Ils sont environ 3 500 au total et se répartissent à peu près également entre chaque section. Les intitulés des sections indiquent bien la répartition entre "purs" et "appliqués" avec cependant, là aussi, des corrections à effectuer : par exemple, la didactique des mathématiques relève de la 26e section ; par ailleurs, on trouve aussi - mais c'est plus récent - un souci des applications en 25e section : calcul formel, mathématiques discrètes. Paradoxalement peut-être, ces deux derniers domaines relèvent aussi de la 27e section "*Informatique*". Sur 1 500 enseignants en université de la 26e section, environ 600 relèvent des probabilités-statistique.

4 - DANS QUELS ORGANISMES TROUVE-T-ON DES MATHÉMATICIENS APPLIQUÉS ?

Dans les universités. Ils appartiennent le plus souvent à la 26e section du CNU. Des informations chiffrées peuvent être trouvées à ce sujet université par université dans la 2e partie de cette évaluation (CD-ROM).

Dans les grands organismes scientifiques. Au CNRS, on trouve quelques mathématiciens appliqués mais en très petit nombre : déjà, l'effectif des mathématiciens y est peu important et celui des mathématiciens appliqués vraiment réduit à la portion congrue. Il y a bien eu quelques postes de chercheurs offerts sous les affichages "*calcul scientifique*", *ou* "*interaction des mathématiques*", ou "*interface mathématiques et …*", et maintenant "*ouverture vers les STIC*", mais il ne s'agit que de quelques unités et on peut parfois discuter du profil appliqué des chercheurs recrutés sur ces postes.

Il y a beaucoup de mathématiciens appliqués à l'INRIA (Institut national pour la recherche en informatique et automatique) où, même si le mot n'apparaît pas dans l'intitulé, on y utilise et produit beaucoup de mathématiques.

Dans les écoles d'ingénieurs. Les mathématiques enseignées dans les écoles sont essentiellement tournées vers les applications ; elles trouvent donc une place naturelle dans le champ de cette évaluation. Mais on verra que ces enseignements ne sont pas nécessairement dispensés par des spécialistes en mathématiques. (cf. l'étude complémentaire 1, faite à ce sujet dans ce volume).

Bien sûr, on recrute des mathématiciens appliqués dans les bureaux d'étude et laboratoires de recherche en milieu industriel et économique (cf. l'étude complémentaire 2 sur les débouchés dans ce volume).

5 - UNE LISTE DES DOMAINES APPLIQUÉS DES MATHÉMATIQUES ?

Une réflexion a été conduite pour définir les domaines ou disciplines mathématiques qui sont souvent sollicités pour les applications.

Cette réflexion s'imposait car il s'agissait de clarifier ce que l'on entend par mathématiques pour les applications avant d'interroger les universités concernées par l'enseignement et la recherche dans ce domaine.

C'est ce que nous avons entrepris, du moins dans les grandes lignes, pour proposer la liste ci-après. Il faut cependant rappeler le contexte et resituer les choix finalement faits au regard des réflexions développées ci-dessus.

Rappel du contexte. Nous refusons une partition catégorique et figée en deux parties “pures“ et “appliquées“ pour l'ensemble des mathématiques, car nous pensons qu'il n'y a pas de ligne de démarcation entre les sous-domaines des mathématiques. Ils constituent, au contraire, un *continuum* de disciplines de proximité présentant une cohérence globale entre elles, ce qui est, d'ailleurs, une des forces principales des mathématiques.

Nous avons déjà souligné, par ailleurs, que certaines mathématiques pouvaient être créées pour elles-mêmes à un moment donné, sans motivation applicative, et donner lieu à des applications par la suite : la notion de mathématiques pour les applications est donc fortement évolutive et doit prendre en compte le facteur temps.

En revanche, à un instant donné, les mathématiciens s'accordent à peu près pour désigner celles des mathématiques qui sont plus particulièrement utilisées pour les applications, et donc aussi celles qui ne le sont pas, du moins à l'instant "t".

Cette classification peut être mise en perspective avec l'observation de l'utilisation des mathématiques hors du milieu universitaire : nous renvoyons, en particulier, à l'analyse des débouchés faite plus loin dans ce volume, où apparaissent très nettement les tendances fortes en ce qui concernent les mathématiques effectivement utilisées. On pourra vérifier qu'elles recoupent largement les choix que nous avons faits. Il apparaît, par exemple, deux grandes familles :

- le calcul scientifique, les équations aux dérivées partielles, l'analyse numérique, l'optimisation ;
- les probabilités et la statistique.

Mais s'ajoutent aussi à cela les mathématiques discrètes et plusieurs branches dont l'importance a crû récemment comme la cryptographie ou le calcul formel qui relèvent d'ailleurs à la fois des mathématiques et de l'informatique.

Disciplines considérées comme relevant des mathématiques appliquées. Il a bien sûr été nécessaire d'établir une liste de disciplines considérées comme relevant des *mathématiques appliquées (MA)*, car comment demander aux universités de chiffrer les enseignements en mathématiques appliquées parmi les autres sans se mettre d'accord au départ sur une définition ?

C'est ce que nous avons entrepris, du moins dans les grandes lignes, en proposant la liste ci-dessous :

- analyse numérique et calcul scientifique ;
- probabilités ;
- statistique ;
- équations aux dérivées partielles (EDP) et modélisation ;
- mathématiques discrètes ;
- optimisation et contrôle ;
- toutes mathématiques orientées vers les applications.

Cette liste a été explicitement jointe aux questionnaires envoyés dans les universités. Elle correspond aux grands domaines des mathématiques qui, à notre époque, sont le plus souvent utilisés comme outils dans les applications. Ils incluent implicitement plusieurs sous-domaines importants comme la recherche opérationnelle (qui fait partie de l'optimisation ainsi que la programmation linéaire), la CAO/DAO (ou conception/dessin assisté par ordinateur) qui est présente en calcul scientifique avec la géométrie des maillages, le calcul formel qui fait partie du calcul scientifique (non numérique), la théorie du signal qu'on classe plutôt en probabilités, etc. La modélisation a été associée ci-dessus aux EDP, car on pense surtout à la modélisation pour la mécanique (structures, fluides), ou pour la cinétique chimique, la biologie, la dynamique des populations, mais elle est aussi intégrée dans les formations en probabilités ou en statistique (on parle alors souvent aussi d'étude de cas), et elle peut être aussi transversale comme le traitement d'images ou les modèles en finance.

Ont été considérées comme *mathématiques générales (MG)* toutes les autres mathématiques enseignées dans les filières de mathématiques. Enfin, ont été considérées comme *mathématiques de service (MS),* les mathématiques enseignées dans des cursus autres que de mathématiques.

V - LES FORMATIONS OBSERVÉES ET LES CRITÈRES RETENUS

1 - LES DIPLÔMES ÉVALUÉS

L'évaluation s'est surtout concentrée sur les diplômes explicitement affichés comme relevant des mathématiques appliquées, à savoir :

- les maîtrises de Mathématiques, mention ingénierie mathématique (MIM) ;
- les seconds cycles en mathématiques appliquées et sciences sociales (MASS) ;
- les instituts universitaires professionnalisés, IUP, orientés mathématiques et informatique ;
- les DESS avec composante mathématique ;
- les DEA de mathématiques appliquées ou ayant une option en mathématiques appliquées (un organigramme est proposé au chapitre suivant).

2 - LES CRITÈRES RETENUS POUR ÉVALUER CES FORMATIONS [1]

Nous décrivons maintenant les critères choisis et nous expliquons les raisons de leur choix.

Nous avons défini les mathématiques appliquées comme étant une activité mathématique motivée par des applications dans une ou plusieurs autres disciplines. Ceci implique tout un ensemble de spécificités et d'activités annexes qui ne seraient généralement pas associées à une activité mathématique "pures". Il est essentiel d'en tenir compte dans l'évaluation des formations correspondantes. On trouve :

La pluridisciplinarité. C'est un premier critère retenu pour évaluer les formations.

Par définition, au moins une discipline d'application doit être enseignée dans la formation. Une formation ne peut cependant pas tout couvrir et présente, en fonction de ses spécificités, un fonctionnement que nous essayons de lire et d'apprécier.

Ceci fait l'objet d'une rubrique intitulée "Ouverture sur l'extérieur et l'extra-académique" dans la grille d'analyse des formations [1]. Dans cette rubrique il est demandé quelles autres disciplines sont enseignées. Il est aussi demandé si les étudiants sont formés à la modélisation et à l'étude de cas.

---

[1] On se reportera à la partie "Guide de lecture des grilles d'analyse" (CD-ROM).